

반도체산업에서의 인적오류제어방법 및 연구

- A method and analysis of human-error management of a semiconductor industry -

윤 용 구 *

Yoon Yong Gu

박 범 **

Park Peom

Abstract

Basis frame-work's base in a semiconductor industry have gas, chemical, electricity and various facilities in bring to it. That it is a foundation by fire, power failure, blast, spill of toxicant huge by large size accident human and physical loss and damage because it can bring this efficient, connect with each kind mechanical, physical thing to prevent usefully need that control finding achievement factor of human factor of human action. Large size accident in a semiconductor industry to machine and human and it is involved that present, in system by safety interlock defect of machine is conclusion for error of behaviour. What is not construing in this study, do safety in a semiconductor industry to do improvement.

Control human error analyzes in human control with and considers mechanical element and several elements. Also, apply achievement factor using O'Connor Model by control method of human error. In analyze by failure mode effect using actuality example.

Keywords : Human-Error and Human -Error Control ,Human -Error System Diagram, Human -Error' Performance,FMEA(Failure Mode and Effect Analysis),HFIX (Human Factor Intervention Matrix)

* 서일대 강사

** 서일대 상경과 교수

2005년 11월접수; 2006년 2월 수정본 접수; 2006년 2월 게재 확정

1. 서론

1.1 연구의 배경

안전사고의 W.H.Heinrich의 도미노이론에서처럼 88%의 불안정한 행동으로, 10%의 불안정한 상태로, 2%의 신에 의한 행동으로 발생원인을 규명화되어 있지만 이 중에서 인간의 불안정한 행동과 상태는 중요한 수행인자로 판단되고, 여기에 따른 사고인자가 Human-Factor의 인자로 Human-Error로 이어지게 된다.

특히 반도체에서의 인적오류에 대한 인지, 판단, 행동으로 업종의 특수성을 감안한 각종 Facility이 운전, 중앙감시반에서의 운전자의 Task 및 반도체의 공정단위의 설비에 대한 운영방안이 Human-Error로 수반되고 있어 여기에 필요한 인적오류 제어방법 및 연구가 필요하게 되었다.

1.2 연구의 목적

인간은 사고의 근간이며, 그러기에 사고 예방의 중요한 열쇠인 것처럼 대부분의 첨단 산업시설은 우수하고, 최고이지만 여기에 따라 수반되는 제어와 위험평가 부분은 낙후되어 있고, 기계적인 운전 및 가동은 전체적인 기준화(Specification)에만 의존하고 있고, 결함에만 중점을 두고 대책을 세워 추진하고 있을 뿐 인간의 행동제어에 대하여 다루고 있지 않음이 심각하다.

사실 지금까지의 대형사고의 원인을 분석하면 인간의 인적오류에 원인이 되는 것이 50~80%에 이른다고 한다. 인적오류의 기본요소(Factor)를 Obstacles (장애), Knowledge(인식), System, Skill, Attitude 라고 했듯이 인간의 부적절한 행동은 시스템의 설계상태, 주변환경, 개인적인 요소를 기저단위(Basement-Unit)를 가지고 있다고 본다.

인적오류를 어느 정도 줄일 수는 있지만 개인적인 요소와 환경적인 요소로 인적오류를 줄이기는 더욱더 난이하고 어렵다. 이러한 인적오류는 인간의 기능적 특성인 인간변화성(Human-Variability)과 인간과 기계간의 Interface 문제는 HMI(Human-Machine Interface)의 인적오류에 미치는 비중이 크게 좌우 한다고 본다.

그러나 현재까지의 첨단산업에서는 화학공정산업과 가스산업과 기계장치 산업의 주된 Factor로 주로 PSM의 시스템을 이용해 운용하고 있고, 공정운영은 한계의 Factor들을 운전작업자에게 정보를 주고 의사결정이 되도록 한다. 따라서 본 연구에서는 첨단산업에서의 인적오류의 비율과 여기에 따른 안전장치의 상태와 인적오류에 대한 인적요인과의 비교를 해서 제어하는 방법을 검토해 보자.

2. 인적오류에 대한 제어연구 부분

2.1 기계장치제어

반도체산업에서의 위험관리는 종합적인 생산체계 및 운영으로 중대위험에 대한 발생 가능성이 있고, 발생 확률에 대한 평가 및 기준치를 가지고 운영하지만 설비의 경우 안전장치에 중점을 두고 있지만 기계 결함을 제외하면 50~80%가 사람 즉 인간오류(Human-Error)가 원인으로 발생하며, 총체적인 대형사고의 연결고리를 가지게 된다.

따라서 반도체산업에서의 중대사고의 유형별 발생할 수 있는 원인을 확률과 사람이 잘못을 할 수 있는 활률을 분석하며 전체적인 발생 가능성의 위험을 제어 억제하고 여기에 따르는 예를들면 화학공정이란면 위험요소인 안전검토, 체크리스트 분석, 예비잠재 위험 분석, 잠재위험 및 운전성 분석, 고장모드 및 영향 분석 및 원인 결과 분석으로 기존의 분석기법을 통해 위험을 최소화한 예지할 수 있는 분석을 할 수 있을 것이다.

효율적 관점에서 선 안전을 기반으로 인적오류를 감소시킬 수 있는 방안은 병행되어야 한다. 중대사고의 가능성에 대한 안전장치 작동의 적정 확률산출공식 아래식으로 나타내면 5가지 요인이 있다.

<표 1> 안전장치의 작동 확률 산출

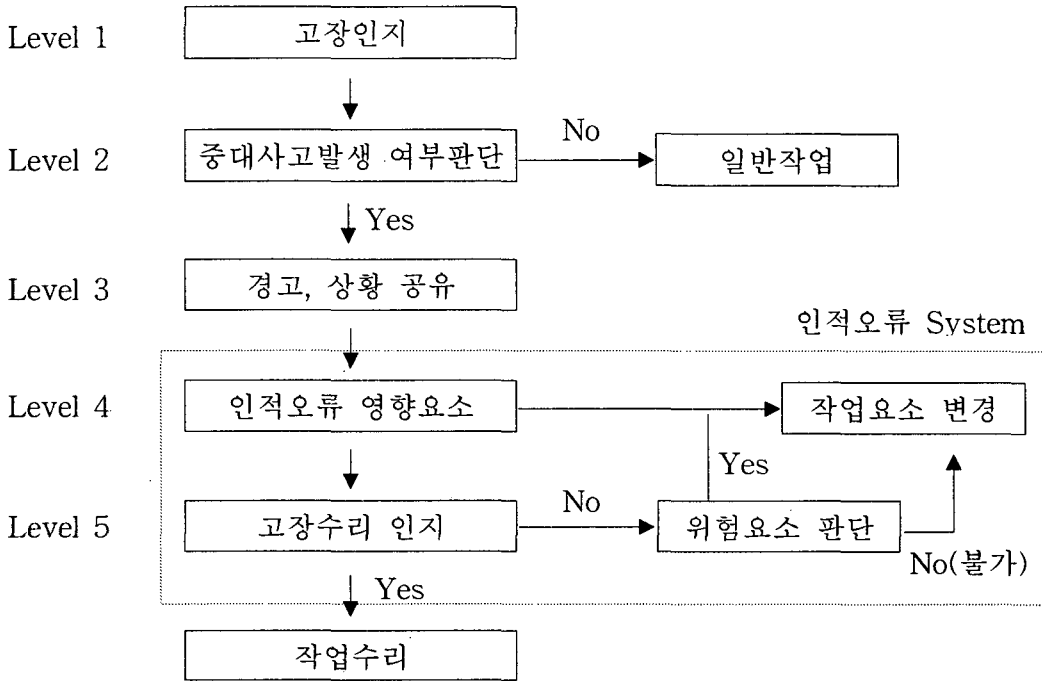
No	항목	수행여부 및 확률	공식	인적오류제어 기능유무
1	안전장치 고장(수행불가)	기능 발휘하지 못할 확률	(검사주기)×(안전장치의 고장빈도)/2	X
2	안전장치 고장(수행난이)	기능 발휘하지 못할 확률	(평균점검 소요시간)/점검주기	O
3	안전장치 고장(수행난이)	기능 발휘하지 못할 확률	(안전장치의 고장빈도)× (보수에 소요시간)	O
4	안전장치 고장(수행못함)	기능 발휘하지 못할 확률	검사주기오류×(검사주기 후 점검오류)	X
5	안전장치 고장(수행난이)	기능 발휘하지 못할 확률	정기보수빈도×정기보수에 소요되는 시간	O

정기검사 및 보수라는 전제 조건하에 안전장치의 수행을 하지 못할 요인중에서 인지 가능한 요인은 ②, ③, ⑤ 항목이다. 안전장치에 있어서 점검에 소요되는 시간과 안전장치의 고장빈도에 대한 최적의 점검주기는

$$\text{점검주기} = \sqrt{\frac{2 \times \text{점검에 소요되는 시간}}{\text{안전장치의 고장빈도}}} \quad \text{①}$$

안전장치의 기능을 발휘하지 못할시에는 분석에서 안전장치의 고장빈도가 좌우하게 되고 인지 가능한 고장 확률은 점검에 소요되는 시간과 안전장치의 고장빈도가 중요한 역할을

하며 이로서 안전장치가 기능을 발휘하지 못할 기간은 약 50% 이상 인지할 수 있다.



<그림 1> 기계적 결함시 Human-Error의 시스템적 Diagram

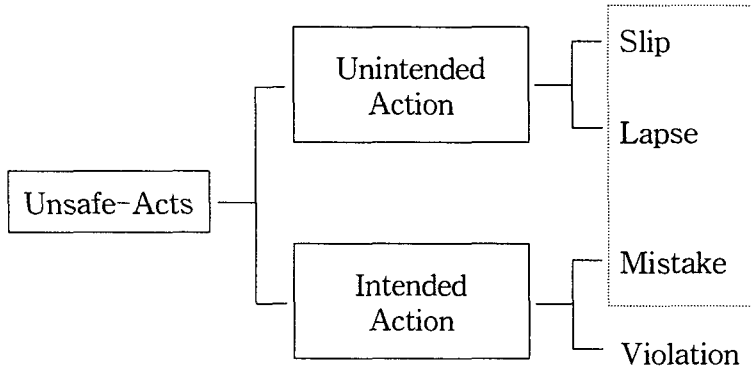
<그림 1>에서 인적오류 시스템은 결국 인적오류 영향요소에 기인된 것이 고장 수리로 절차화 되지만 인지에 대한 영향요소에 따라 작업수리와 위험요소의 판단 기준으로 양분화되어 인적오류(Human-Error)에 대한 연결고리의 시발점을 갖게 된다.

2002년도 상반기 중 안전분야 185명의 재해자를 대상으로 불안정한 행동을 살펴보면 불안정한 행동이 107명(57.8%), 물체, 설비 및 기구의 부적절한 사용이 23명(12.4%), 복장, 보호장비의 부적절한 사용이 21명(11.4%) 발생되었고, 불안정한 작업수행행동의 요인을 세부적으로 보면 107명 중 작업절차 및 방법 부적절이 90%(84.1%), 불안정한 상태 방치가 17명(15.9%)으로 나타나 대부분이 작업절차 및 방법 부적절 요인의 영향으로 결국 인적오류에 기인된 것이 50% 상위하고 있고, 기인물의 요인을 보면 기계, 설비로 인한 부분이 56명으로52.3%가 되고 있는 것을 볼 때 인간과 기계에 대한 인적오류에 대한 부분은 연관성이 있다고 판단된다.

2.2 인적오류 제어

인적오류는 불안정한 행동을 야기시키는 무의식 행동과 의식 동작 행동으로 동작의 반복으로 실수, 동작의 잘못 이해, 작업순서의 행동을 잊음(생략), 동작의 혼입에 의해

서 발생된다고 <그림 2>처럼 James Reason은 제시하고 있다.



<그림 2> 인간행동 Error

이같이 인적오류는 시시각각으로 변화하는 작업 상황에서 시스템과 인간, 인간과 인간사이의 상호반응에서 발생되기 때문에 영향을 받게 되는 것이다. 그렇다고 반드시 인지 에러가 행동 에러로 이전 된다고는 단언할 수 없을 것이다. 영향도 중요한 요인이 될 것이다.

그래서 수행영향인자 관점에서 인적오류 제어방법은 <그림2>에서 보는 바와 같이 반도체산업에서의 피해를 예방하기 위해 결함을 인지하고 여기에 따른 영향 분석과 원인 결과를 판단으로 모든 Process의 요소에 수행 영향인자가 인적오류에 많은 비중을 가지고 있다.

특히 <표 2>에서 보여 주는 수행영향인자는 Human-Error(인적오류) 분석 측면에서 볼 때 사전예방 측면보다 사후예방 관점의 보편화된 인자로 본다.

<표 2> 수행 영향인자 분류

직무환경	직무특성	작업자 특성	조직 및 사회적요소
<ul style="list-style-type: none"> ■ 공정환경 ■ 시스템 ■ 설계 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 절차/기준 ■ 직무성격 ■ 직무기술 ■ 위험성평가 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 인지,판단,행동 능력 ■ 육체적,정신적 요소 ■ 안전태도,심성 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 팀워크 및 의사소통 ■ 안전문화 ■ 목표와 Vision 공유

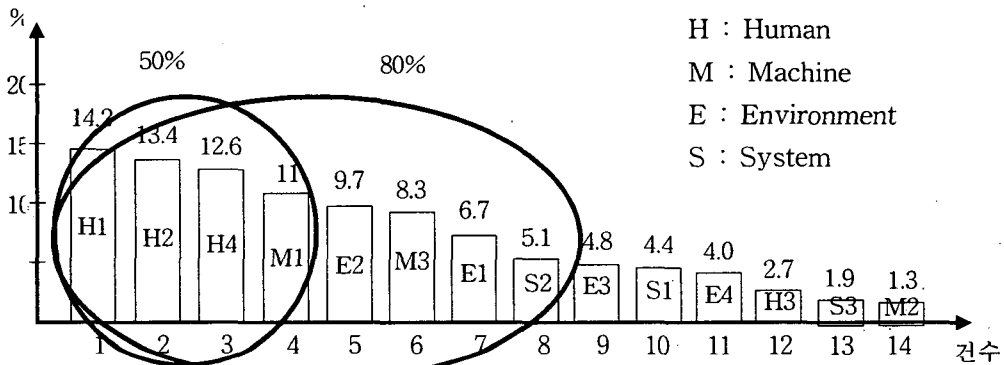
(Classification of Performance Shaping Factors)

수행영향인자들은 크게 4개의 Group으로 나눌 수 있고, 그에 따른 세부인자는 <표 2>와 같다.

- 직무환경 : 물리적인 작업환경 및 작업유형등에 관련된 인자들
- 직무특성 : 절차서 및 작업자에게 요구되는 직무의 특성과 관련된 인자들
- 작업자 특성 : 작업자 개인의 특성 및 작업능력등과 관련된 인자들
- 조직 및 사회적요소 : 팀워크 및 의사소통, 안전문화등과 관련된 인자들

3. 반도체 인적제어에 대한 제어방법 및 분석

3.1 제어방법



<그림3> 안전사고 수행인자의 비율

<그림 3>은 반도체에서의 사고사례를 4개의 수행인자로 분석한 결과로 H(Human)의 수행인자는 절차, 기준, 교육, 훈련, 과로, 스트레스, 커뮤니케이션이 주로이고, M(Machine)은 피로, 인터록, 유지/보수가 인자이고, E(environment)는 작업환경, 방법, 재료, 결핍부족으로, S(System)은 모니터링, 지침/규정, 평가이다.

이처럼 반도체산업에서는 수행영향인자에 대한 사항을 변경하거나 최소화 하거나 감소하는 방법도 인적오류에 대한 효율적 부분이다. 반도체산업에서의 직무특성에 대한 인적오류 및 인적요소에 대한 수행영향인자가 작업자에게 요구될 수 있는 특성에 대하여 기술해 보면

- 첫째는 운전원들의 훈련과 교육을 통한 지식과 기술이 중요한 요소로 정보 공유에 대한 절차 및 기술 Process가 중요하고,
- 둘째는 여러 사건 및 복합적인 상황에 대한 위기대응에 대한 인적요소에 대한 인적오류에 대한 중요한 요소를 인지하고 있음이 중요하며,
- 셋째는 직무수행에 대한 의사결정(Decision-Making) 및 정책, 규정 및 안전문화가 팀내 그룹간 및 팀원 상호간의 정립 및 협력업체가 중요한 요소이다. 또한 수행영향인자에 대한 중요한 인적오류에 대한 상황별에 대한 인자 들을 누락시키지 않고, 실제 운전이 필요한 인적오류를 분석해 가급적 반영하는 것이 안전성을 향상시킬 수 있다.

한편으로는 작업자에게 이런 특성이 요구되는 상황에서 전자에는 지식과 기술, 위기 대응, 의사결정의 Morale만 강조되고 있어 추가 보완될 사항으로 외부적인 요소와 실행영향 요소와 심리적인 부분이 보완되면 하는 관점에서 적용해 본다.

3.2 FMEA 분석에 대한 연구

반도체산업에서의 인적오류 분석을 O' Connor, S.L, & Bacchi, M 방법으로 분석해 보고 여기에 대항목에 대한 부분을 고장유형 및 영향 분석 (FMEA: Failure Mode and Effect Analysis)로 적용해 보면 다음과 같다.

<표 3> 첨단산업장치의 O' Connor & Bacchi의 HEA와 FMEA

Classification-1	PSF	심각도	발생도	검출도	RPN
External Error Mode	Repair	6	6	5	180
	Service	6	6	5	180
	Inspection/Checking	5	5	5	125
Performance in fluencing Factor	Task Factor	6	5	10	300
	Task Support	5	5	5	125
	Situation Tactor	6	4	7	168
	Environment Factor	7	6	7	294
	Personal Factor	7	5	10	350
	Error Agent	6	5	5	150
Psychological	Information Process	3	7	6	126
	Symbolic Process	3	7	6	126
	Endsley's Model	4	7	5	140
	Rasmussen(S,R,K)	5	5	7	175

※ Endsley's Model(Mechanism of Situational ware ness)

※ S,R,K = Skill, Rule, Knowledge

인적오류로 <표 3>을 적용해보면 수행영향인자가 Error나 Tool까지 세부적으로 나누어져 있고 Data 기록과 Tool로 인한 함축된 진행을 제공했고, Utilization의 Mechanism도 포함되어 있는 것을 알 수 있다.

이 인적오류의 분석은 FIG(Focus Interview Group)으로 최근 사고사례 중심으로 반영해서 유지보수와 각 개인의 활동까지 포함 내재됨을 분명히 한다.

FMEA로 분석해보니 외적오류 모드 측면에서는 첨단산업은 Timing 산업과 장치산업으로서의 기계 운전 및 설비 유지보수에 대한 점검, 보수 및 수리, 개선에 대한 인적오류에 대한 수행영향인자들에 대한 인자들이 RPN 25~180 정도로 나타났고, 수행영향인자 측면에서는 환경적요소에 대한 부분이 Task와 Personal Factor 보다는 낮음으로 취약했고, 이 부분은 작업자에 대한 설비유지보수 및 Maintenance에 대한 인증 및 Skill-up이 기능과 부여를 가지고 있다고 본다. 이 모드는 Human-Reliability에 관계된 검출능력이 설비의 연관성으로 나타나고 있다고 판단된다. 특히 Task Factor 중에 검출되는 상당히 높게 나타났고, 직무작업에 대한 직무능력과 작업과 설비측면에서 볼 때 지각상, 행동상 조작기구, 표시 관련성과 Feed/Back 및 인간과 기계와의 인터페이스 문제등으로 볼 수 있고, 이에 따른 인적오류의 검출 능력은 상당히 수준이 떨어지고 미비점을 가지고 있는 것으로 나타났고, Personal Factor는 성격, 기능, 지능적 자질, 동기와 태도 및 인적오류의 내적인자 즉 내부요소에 대한 요인이 크게 작용하고 있고 이 부분에 대한 보완이 필요하다. 특히 인적오류에 대한 검출도는 크게 높아 검출 능력이 떨어지고 반도체산업에서 특화 개발되어야 한다는 것으로 판단된다. 8)

환경적요소는 에라감지시스템 여부, 에러복구시스템 여부, 유지보수체계에 대한 부분이 취약한 것으로 나타났고, 검출부분은 어느 정도의 수준을 유지하는 것으로 판단되며, 이 부분에 대한 환경에 대한 부분은 공정환경, 작업환경, 근무환경, System환경 및 Infra환경들이 인적요소에 수행영향인자로 좀 더 세분화에 대한 대응이 중요한 요소로 영향을 주고 있음이 나타났다.

개인적 요소나 상황적 요소로 볼 수 있는 절차서, 직무성격, 인지능력, 정신적 요소는 24시간 설비가동측면에서 한단계 Up-grade 해야할 부분을 지적하고 있다. 인지 부분에 대한 Rasmussen에 대한 부분은 Skill, Rule, Knowledge 측면에서 전반적인 부분에 보완점을 보여 주고 있다. 이런 수행영향인자를 보면 작업자의 업무특성, 기술적 인증, 할당 및 직무기술의 배분등이 내포되어 있고, 인적오류 인자들도 기계적인 부분으로 보면 안전장치, 인증, 자격, 인간공학적인 부분도 세분화 되어야 한다고 본다.

인적요인(Human Factor) 측면에서 볼 때 Sanders and Shauts의 CFAC(Contributing Factor in Accident Causation Model)도 관리적인, 육체적인 심리학 환경, 장비 디자인, 작업자와 협조자, 불안정한 행동, 사고의 기여에 대한 변화 수준으로 볼 때 동일하게 인적요소의 특이사항으로 분석해야 할 요소이다.

3.3 HFIX 적용에 대한 연구

HFACS(Human-Factor Analysis and Classification System)의 체계적인 분류에

의해 인적오류를 분석해보면 HFIX(Human-Factor Intervention Matrix)의 수단적인 이용을 해서 일반적인 인자들의 해결을 반도체 산업의 개인과 특화되어 있는 Source를 통해 이용 가치를 드높이기 위해 일반화 해보고 <표3>을 인용해 일반 비행사고에 반영되는 HFIX를 적용할 때 Rasmussen과 End Sley's의 Situation을 반영해서 여기서 발생하는 필요한 기본과 Data의 운영을 근간으로 인적오류에 대한 분석을 실시하고 더 나아가 이런 Tool이 중재의 영향으로 Program에 적용되고 평가되어 System 운영에 많은 Modify와 개인이 필요하다고 판단된다.

<표 4> 반도체산업에서의 Human-Factor Invention Matrix

	Organization	Human Operator	Technology Engineering	Task Mission	Operational Physical Environment
Skill-base Error					
Rule-base Error					
Knowledge-base Error					
Situation Error					

4. 결 론

반도체산업에서의 안전관리는 사고예방 활동의 근원적인 차원이 더욱 절실히 요구되고 있고, 이제는 Unit 단위의 단위 해결책의 안전업무보다 종합적인 근본대책이 경쟁사회의 기업활동의 성장요소로 기여하기 위해서는 System적인 위험요소를 최소화하기 적극적인 비중을 두어야 하고, 그 중에도 인적요소에 대한 인적오류를 더욱더 관리를 Up-Grade 시키고, 혁신(Revolution)해야 하며, 여기에 대한 산업 업종간에 인적오류에 대한 System적 Program을 적용해야 하고, 이것에 대한 관심이 고조되어야 된다고 보며, 특히 반도체산업에서의 기계적 안전장치의 인적오류를 작업자가 인지, 인식함으로 미치는 요소 대응을 함으로 한계 효용의 가치를 높이고, 인적요소에 대한 인적오류의 수행인자를 직시함으로 반도체산업에서의 Task Factor 및 Personal Factor는 좀 더 특화 개발 해야 될 부분으로 지적되었으며, 특히 검출도 측면에서 인적오류에 대한 Model 개발이 인적요인에 대한 인적신뢰도를 기반으로 정립해야 될 과제를 가지고 있다. 반도체산업에 맞는 HFIX Tool를 제시함으로 인적오류 제어에 많은 도움을 주고자 한다.

5. 참고 문헌

- [1] Harle, P.G. In vestigation of Human-Factors The link to accident prevention. In No Mcdonald & R.Fuller(Eds), Aviation Psychology inpractice pp 127~148, 1994
- [2] Besco, R.O. "Modeling System Design Components of Pilot Error" Human-Error Avidance Technigues Conference Proceodings. pp 53~57, 1998
- [3] 조영도, 박교식, 박희준, "화학공정산업의 인적오류 제어방법", KIGAS, Vol.7, No. 2, pp 42~47, June 2003
- [4] 2002년도 상반기 중대재해 원인 분석 pp 17, "한국산업안전공단" 2002
- [5] O' Connor, S.L., & Bacchi, M. A preliminary taxonomy for human error analysis in civil aircraft maintenance operation. Ninth Biennial Symposium of Aviation Psychology. 1997.
- [6] 2003년 환경안전 사고사례집 2003.
- [7] 2004년 환경안전 사고사례집 2004.
- [8] Sander's, M.S. & McCormick, E.J. "Human Error, Accident and Safety. In Human Factor in Engineering and design(7th ed) 1993, pp 655~695 New York : McGraw-will, Inc. 1993
- [9] Douglas A. Weigmann. "Human Error and Aviation Accident : A Umprehensivo, Fine-Grained Analysis Hsin HFACS" Final Technical Report AHFD-05-08 FFA-05-03, 99 16, 2005

저 자 소 개

윤 용 구 : 아주대학교에서 공학 석사 학위를 취득하고(2002), 아주대학교 산업공학과 박사과정을 수료하였다. 삼성전자(반도체) System LSI 환경안전그룹에 재직 중이며 주요 관심분야는 산업안전, HCI,감성공학 등이다.

박 범 : 아주대학교 산업공학과를 졸업하고 미국 Ohio Univ. 산업공학 석사, Iowa State Univ.에서 산업공학 박사학위를 취득하였고, 한국 전자통신연구소에서 Human-machine Interface 업무에 선임 연구원('93-'95)을 역임하였으며, 현재 아주대학교 산업공학과 부교수로 재직 중이다. 주요관심 분야는 인간공학, 감성공학, HCI, 설비안전이다.